Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 4, Oct- Nov 2019, p. 465-475

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 4، مهر - آبان 1398، ص. 475-465

# مدل‌سازی سفتی بافت و سینتیک خشک شدن میوه "به" در خشک‌کن همرفتی مادون قرمز توسط شبکه عصبی مصنوعی

امیر گیتی‌بان کلجاهی[1]- نارملا آصفی[2*]

تاریخ دریافت: 1397/08/08
تاریخ پذیرش: 1397/01/31

## چکیده

"به" یکی از میوه‌های سرشار از مواد معدنی و ویتامین بوده و یکی از راه‌های نگهداری این محصول خشک کردن می‌باشد. امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی پارامترهای خشک کردن در حال رشد و توسعه است. پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی سفتی بافت و زمان خشک شدن میوه به توسط شبکه عصبی انجام گردید. آزمایش‌های خشک کردن توسط خشک کن همرفتی مادون قرمز در سه توان 400، 800 و 1200 وات و جریان هوای ثابت 0/5 متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت ثابت 22% بر پایه مرطوب، خشک گردید. به‌منظور مدل‌سازی از شبکه عصبی چندلایه (MLP) با توابع آستانه مختلف، تعداد نورون مختلف و الگوریتم آموزش لونبرگ – مارکوارت برای آموزش شبکه‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ساختار (2-7-3) با توابع آستانه لگاریتمی با ضریب تعیین (0/9980 و 0/9867) به‌ترتیب برای زمان خشک شدن و سفتی بافت و مقدار میانگین مربعات خطا (0/008881 و 0/0009693) در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را ارائه می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** میوه "به"، زمان خشک کردن، سفتی بافت، مدل‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی

## مقدمه

با توجه به این که خشکبار یکی از پر اهمیت‌ترین صادرات غیرنفتی می‌باشد باید در جهت رشد و شکوفایی اقتصاد کشور از طریق افزایش صادرات به بازارهای جهانی این محصول تلاش فراوان شود. در این میان میوه "به" حاوی مواد معدنی مختلف از جمله آهن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و غنی از ویتامین هایی نظیر ویتامین A، C و ویتامین‌های گروه B می‌باشد. به دلیل داشتن محتوی رطوبتی بالا میوه "به" سرعت فاسد می‌گردد که یکی از راه‌های افزایش ماندگاری این محصول خشک کردن می‌باشد (Silva *et al*.,2004). خشک کردن مواد غذایی، یکی از روش‌های نگهداری آنها است. طی این فرآیند، حذف رطوبت از طریق انتقال همزمان حرارت و جرم صورت می‌گیرد. با انتقال حرارت از محیط به ماده غذایی، انرژی گرمایی موجب تبخیر رطوبت سطحی می‌شود. عملیات خشک کردن تاثیر زیادی بر کیفیت محصول و قیمت آن می‌گذارد (توکلی‌پور، 1380). آبگیری اسمزی می‌تواند به‌عنوان پیش تیمار جهت آبگیری اولیه میوه‌ها قبل از خشک شدن مورد استفاده قرار گیرد (امام جمعه و همکاران، 1384). هدف اصلی از آبگیری اسمزی به حداقل رساندن صدمه به بافت سلولی و انتقال آب در زمان کوتاه در مقایسه با سایر روش‌های خشک کردن است (سلیمانی و همکاران، 1386). برای بهبود ویژگی‌های محصول خشک شده و کاهش زمان مورد نیاز فرآیند، می‌توان از اشباعیت اسمزی تحت خلاء به‌عنوان پیش تیمار، قبل از فرآیند خشک کردن استفاده کرد (Tortoe, 2010). عوامل مختلفی از جمله نوع و غلظت محلول اسمزی، دما، مدت زمان فرآیند و ویژگی‌های مواد اولیه مورد استفاده بر آبگیری اسمزی میوه‌ها و سبزی‌ها تاثیرگذار هستند (Ozdemir *et al*.,2008). در سال‌های اخیر روش‌های نوین که باعث افزایش نرخ خشک شدن گردیده، کیفیت محصول را بهبود داده است، مورد توجه قرار گرفته است. خشک کردن با سامانه مادون قرمز یکی از آنها است. مادون قرمز امواج الکترومغناطیسی با طول موج 700 نانومتر تا 1 میلی متر را شامل می‌شود. از مزایای استفاده از امواج مادون قرمز به حداقل رساندن ضایعات و جلوگیری از افت ویژگی‌های کیفی محصول به دلیل کاهش زمان خشک شدن را بوده است (Meeso *et al*., 2004). لازمه پیش‌بینی کیفیت محصول در هر فرآیند، مدل‌سازی و کشف رابطه بین عواملی است که می‌توانند بر کیفیت خروجی فریند تاثیرگذار باشند. مدل‌های ساخته شده وضعیت محصول در طول فرآیند خشک کردن را

1 و2- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مهندسی علوم وصنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

(* - نویسنده مسئول: Email: n.asefi@iaut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i4.76323

بر اساس پارامترهایی مانند زمان، دما، محتوی رطوبتی بیان می‌کنند (Bonazzi *et al*., 2011) شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یک الگوریتم فرا ابتکاری در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی، مورد توجه بسیار قرار گرفته است که این محبوبیت را می‌توان به توانایی این شبکه‌ها در زمینه مدل‌سازی و پیش بینی در مورد فرآیندهای پیچیده، تشخیص نوسانات غیر تصادفی در داده‌ها (Togrul *et al*., 2004)، قابلیت پیش بینی تغییرات پارامتر مورد نظر با حداقل پارامترها (Bowers *et al*., 2000) دانست که موجب شده تا این الگوریتم فرا ابتکار بر دیگر روش‌های کلاسیک مدل‌سازی و پیش‌بینی از جمله رگرسیون برتری یابد.

تا کنون پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد شبکه‌های عصبی صورت گرفته است. گروهی از محققین تعیین شرایط بهینه با روش سطح پاسخ و مقایسه دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون در خشک کردن سیب زمینی پرتودیده با اشعه گاما را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شبکه عصبی با ضریب تعیین 0/9704 دارای قابلیت بسیار بیشتری در پیش‌بینی نسبت به مدل رگرسیون بود (Yousefiyan *et al*., 2016). در تحقیقی دیگر به‌کارگیری روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در بررسی و تخمین برخی مشخصه‌های خشک کردن بادمجان و شلغم در یک خشک کن ترکیبی مایکروویو همرفتی مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج نشان داد که شبکه عصبی پس انتشار پیش‌خور و پیشرو با توابع آستانه لونبرگ- مارکوارت و تنظیم بیزی با چیدمان 2-20-20-3 توانست ضریب پخش رطوبت موثر و انرژی مصرفی ویژه را به‌ترتیب با ضرایب تبیین 0/9821 و 0/9952 و خطای میانگین مربعات 0/00014 در شرایط مختلف خشک کردن بادمجان و شلغم را پیش‌بینی نماید (Kaveh, 2016). هدف از این تحقیق، مطالعه تاثیر پیش تیمار اشباعیت تحت خلاء بر تغییرات میزان سفتی باف و زمان خشک شدن اسلایس‌های میوه "به" طی خشک شدن با امواج مادون قرمز، مدل‌سازی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی کننده این تغییرات بود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، میوه"به" (رقم و واریته اصفهان) محصول ممتاز باغات اصفهان خریداری گردید و قبل از انجام آزمایشات در سرد خانه بالای صفر نگهداری شد.

### آبگیری اسمزی تحت خلا

میوه‌های "به" یک ساعت قبل از فرآوری از یخچال خارج شده و در دمای محیط قرار گرفتند. پس از شستشو، رطوبت سطحی توسط کاغذ جاذب رطوبت گرفته شد و به اسلایس‌هایی ( 4× 35× 35) میلی‌متر تبدیل شدند. نمونه‌ها تحت پیش تیمارخلاء (خلا به مدت 5 ساعت فشار مطلق 70 میلی‌بار در دمای 40 درجه) به همراه محلول اسمزی (ساکارز با غلظت 30 درصد به مدت 5 ساعت در دمای 25 درجه) قرار گرفتند.

### خشک کردن نمونه‌ها

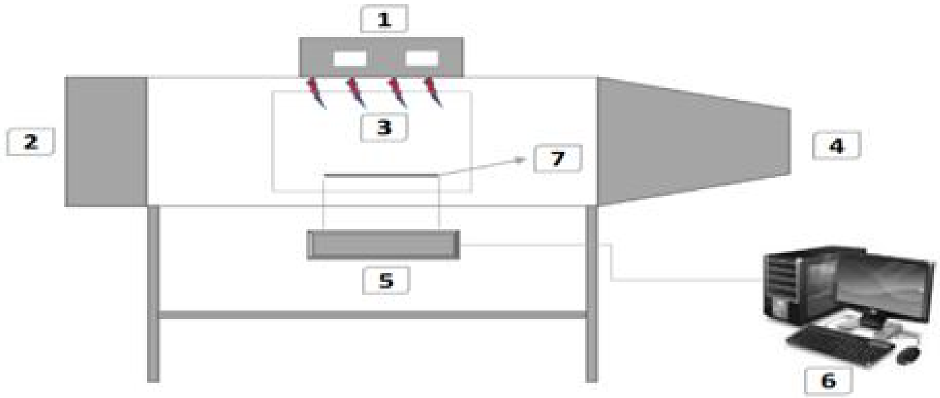
برای خشک کردن نمونه‌ها از یک خشک‌کن همرفتی مادون قرمز با سه توان (400، 800 و 1200 وات) و سرعت هوای ثابت 0/5 متر بر ثانیه مطابق شکل (1) استفاده شد. به این صورت که نمونه‌های مورد آزمایش در زیر لامپ‌های مادون قرمز روی ظروفی که از توری ساخته شده بود قرار گرفتند و وزن نمونه‌ها در بازه زمانی 10 دقیقه توسط ترازو اندازه‌گیری شده و در رایانه ثبت گردید. به‌منظور حصول شرایط پایدار در سیستم، خشک کن 30 دقیقه قبل از فرآیند روشن شد. فاصله نمونه‌ها تا لامپ مادون قرمز در همه تیمارها ثابت 16 سانتی‌متر بود. عمل خشک کردن تا رسیدن به میزان رطوبت 0/22 بر مبنای مرطوب ادامه یافت.

### اندازه‌گیری سفتی بافت

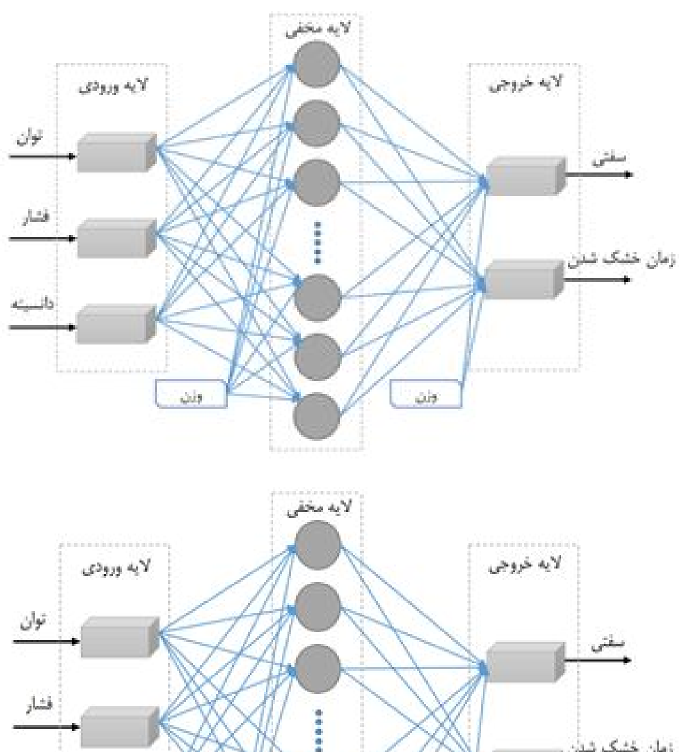
برای انجام آزمون سفتی بافت (Puncture Tests) برش‌های "به" از دستگاه آنالیزکننده بافت (Brookfield ،LFRA-4500، آمریکا) استفاده شد. برای انجام آزمون ابتدا هر یک از نمونه‌ها با ابعاد مشخص برش خورده و سپس زیر پروب دستگاه قرار گرفتند. در این آزمون پروب نمونه را سوراخ می‌کند برای این آزمون لازم است صفحه زیر نمونه، سوراخ‌دار باشد تا پروب پس از سوراخ کردن نمونه بتواند از آن رد شود. در این تست پروب در یک سیکل رفت و برگشت با سرعت 0/7 میلی‌متر بر ثانیه نمونه را سوراخ و میزان پایین آمدن پروب 10 میلی‌متر اعمال شد. برای این آزمون لازم است سطح مقطع نمونه‌ها از سطح مقطع پروب (2 میلی‌متر) کوچکتر باشند، همچنین ابعاد پروب برای همه نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شد تا مقایسه نتایج در شرایط برابر انجام شود.

### مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

از قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به مدل‌سازی تغییرات کیفیت محصول در طول فرآیند خشک کردن اشاره نمود. هر شبکه عصبی از لایه‌های: ورودی، میانی یا مخفی و خروجی تشکیل شده است. در لایه اول یا ورودی، تعداد نرون به تعداد عوامل اولیه و در لایه خروجی به تعداد عوامل نهایی مورد نظر، بستگی دارد. لایه مخفی می‌تواند از یک یا چندین لایه تشکیل شود که تعداد نرون‌های هر لایه آن متغیر است و عموماً به روش سعی و خطا تعیین می‌شود. با توجه به اینکه در مدل‌سازی شبکه عصبی تعیین ماتریس ورودی و خروجی بسیار مهم است، ابتدا داده‌ها فراخوانده شده و سپس برای هر تیمار عمل میانگین‌گیری صورت پذیرفت (خوش تقاضا و همکاران، 1394).



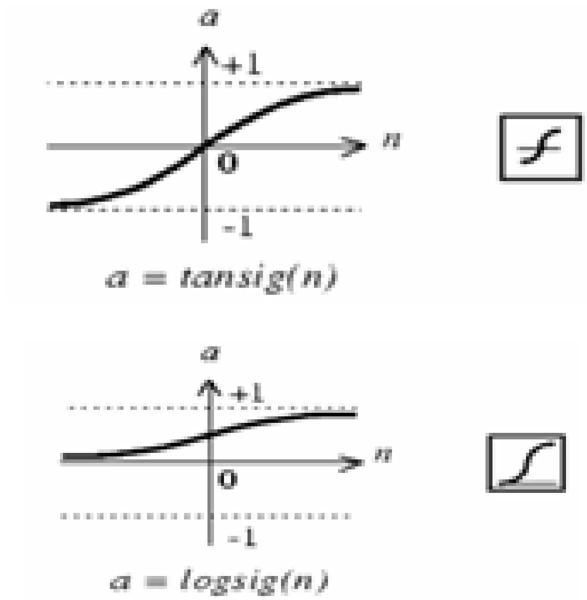

**شکل 1-** شماتیک خشک کن مورد استفاده: (1) ورودی هوا؛ (2) فن؛ (3) گرمکن؛ (4) تابلو فرمان یا محفظه کنترل کننده دما، توان خشک کن، رطوبت سنج و سرعت هوا؛ (5) سینی سوراخ دار؛ (6) ترازوی دیجیتال؛ (7) لامپ های مادون قرمز؛ (8) سرعت سنج دیجیتالی هوا؛ (9) خروجی هوا.




**شکل 2-** شماتیک شبکه عصبی مصنوعی

در ادامه شکل 2 ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در مدل‌سازی میزان سفتی بافت و زمان خشک شدن برش¬های میوه "به "را نشان می‌دهد. به‌منظور مدل‌سازی این پارامترها در فرآیند خشک کردن، از نتایج حاصل از بررسی کیفیت نمونه¬ها شامل: میزان سفتی بافت و همچنین مدت زمان خشک شدن به‌عنوان خروجی¬های شبکه استفاده شد. و پارامترهای توان، غلظت و فشار به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند. در این پژوهش از شبکه چندلایه پرسپترون (MLP) استفاده شد. این مدل به علت سادگی و در عین حال دقت بالا، کاربرد زیادی در مدل‌سازی خشک شدن محصولات کشاورزی دارد. توابع زیادی در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد ممکن است مورد استفاده قرار گیرند .(Tripathy et al., 2008)

توابع آستانه مختلفی چون سیگموئیدی (logsig) و لگاریتمی (tansig) و الگوریتم‌های آموزش همراه با نظارت مانند لونبرگ-مارکوارت (lm)، پس انتشار ارتجاعی (rp)، شیب توام مقیاس شده (scg, cgb) که همه این الگوریتم‌ها حالت‌های خاصی از الگوریتم پس انتشار هستند استفاده و نتایج آنها مقایسه شد (شکل 3).




**شکل 3- توابع آستانه مورد استفاده در شبکه عصبی مصنوعی**

**فرآیند یادگیری و انتخاب بهترین تابع عملکرد شبکه**

در ابتدا الگوهای ورودی شبکه نرمال‌سازی شده و سپس به‌صورت تصادفی به سه گروه آموزش (70%)، ارزیابی (15%) و آزمون (15%) تقسیم‌بندی شدند. همچنین نرخ آموزش (lr) به روش آزمون و خطا برای تمامی حالات 0/2 و میزان مومنتوم 0/1 در نظر گرفته شد. الگوریتم مورد نیاز برای شبیه‌سازی شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2015b توسعه داده شد. معیارهای ارزیابی پایانی که به منظور بررسی قدرت پیش‌بینی مدل عصبی فرآیند انتخاب شده‌اند، عبارتند از: الف) ضریب تعیین ($R^2$) بین مقادیر خروجی واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه، ب) شاخص میانگین مربعات خطا (MSE) که میانگین مربعات خطاهای محاسبه شده از مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده را نشان می‌دهد و طبق روابط 1 و 2 محاسبه می‌شوند .(Mohebbi *et al.*, 2008)

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}[O_i - T_i]^2}{\sum_{i=1}^{n}[O_i - T_m]^2}} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - T_i)^2}{N} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها، $O_i$ مقدار پیش بینی شده به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی برای الگوی i ام. $T_i$ مقدار هدف (آزمایشی) برای الگوی iام، $T_m$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌ها آموزشی است.

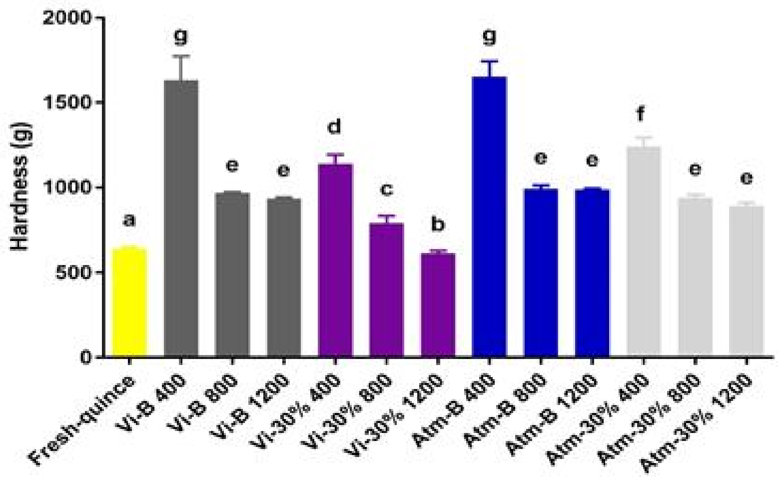
بهترین عملکرد زمانی است که $R^2$ مقداری نزدیک به 1 داشته باشد و مقدار صفر برای $R^2$ نشان‌دهنده آن است که مقادیر خروجی برآورد شده توسط مدل به مقادیر واقعی خروجی نزدیک نمی‌باشد همچنین هرچه MSE مقادیر کمتری داشته باشد نشان‌دهنده آن است که مدل با خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی مقادیر خروجی اقدام می‌نماید.

## نتایج و بحث

### میزان سفتی بافت

شکل 4، بیانگر آن است سفتی بافت در نمونه‌های اسمزی تیمار شده با خلاء با افزایش توان کاهش می‌یابد. به‌طوری که کمترین میزان سفتی مربوط به نمونه اسمزی که در شدت 1200 وات خشک شده می‌باشد. با افزایش توان مادون قرمز سفتی بافت کاهش پیدا کرد، علت

این امر احتمالا پدیده افزایش حجم باشد که طی تبخیر سریع رطوبت توسط اشعه مادون قرمز از داخل بافت رخ می‌دهد. نمونه اسمزی خشک شده تحت خلاء در توان 1200 وات در بین کل تیمارها دارای بافتی نرم تر، همچون محصول تازه می‌باشد.




**شکل 4- تاثیر پیش تیمارها بر میزان سفتی بافت**

**مدت زمان خشک شدن**

جدول 1 نشان می‌دهد که در شروع فرآیند خشک کردن، به علت بالا بودن رطوبت اولیه محصول نرخ از دست دادن رطوبت زیاد است. به تدریج با پیشرفت زمان و کاهش رطوبت اولیه محصول نرخ کاهش رطوبت به‌طور طبیعی کاهش می‌یابد. در توان‌های پایین‌تر مدت زمان خشک شدن بیشتر است و با افزایش توان، زمان خشک شدن به علت افزایش شیب حرارتی در داخل محصول و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول کاهش پیدا می‌کند. این نتایج با تحقیقات سایر محققان مطابقت داشت (Adak *et al.*, 2017; Ozdemir *et al.*, 2017).

**جدول 1- اثر پیش تیمارهای مورد استفاده بر زمان خشک شدن**

| تیمار | زمان خشک شدن (دقیقه) |
|---|---|
| Vi-B 400 | 120 |
| Vi-B 800 | 63 |
| Vi-B 1200 | 40 |
| Vi-30% 400 | 100 |
| Vi-30% 800 | 53 |
| Vi-30% 1200 | 34 |
| Atm-B 400 | 180 |
| Atm-B 800 | 106 |
| Atm-B 1200 | 57 |
| Atm-30% 400 | 165 |
| Atm-30% 800 | 87 |
| Atm-30% 1200 | 50 |

**شبکه عصبی مصنوعی**

برای بررسی عملکرد شبکه پرسپترون چندلایه از توپولوژی‌های مختلف با تعداد نرون‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. این

توپولوژی‌ها کاملاً به‌صورت سعی و خطا انتخاب شدند. پس از آموزش شبکه با توجه به الگوریتم‌های یادگیری مختلف بهترین چیدمان شبکه بر اساس دو معیار R و MSE از میان توپولوژی‌های دیگر تعیین گردید. جدول 2، خلاصه‌ای از بهترین نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

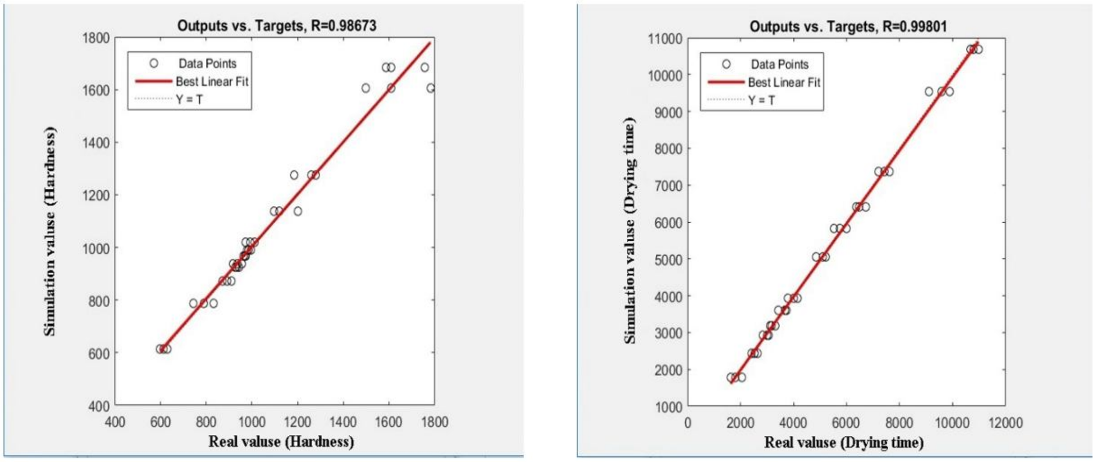
**جدول 2- نتایج ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی پارامترهای سفتی بافت و زمان خشک شدن**

| تابع آستانه | الگوریتم اموزشی | تعداد نورون در لایه پنهان | سفتی بافت(g) | | Epoch | زمان شبیه‌سازی (sec) | تعداد نورون در لایه پنهان | زمان خشک شدن(ثانیه) | | Epoch | زمان شبیه‌سازی (sec) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | R | MSE | | | | R | MSE | | |
| Tan | Lm | 17 | 0/9770 | 0/015626 | 50 | 15/99 | 17 | 0/9804 | 0/215373 | 23 | **30/84** |
| Log | Lm | 7 | 0/9867 | 0/000969 | 206 | 13/74 | 7 | 0/9980 | 0/008881 | 31 | **15/51** |
| Tan/Log | Lm | 9 | 0/9702 | 0/001818 | 62 | 11/24 | 6 | 0/9767 | 0/261814 | 38 | **17/32** |
| Tan | cgb | 13 | 0/9817 | 0/086923 | 43 | 24/86 | 10 | 0/9864 | 0/192215 | 43 | **18/62** |
| Log | cgb | 10 | 0/9857 | 0/004168 | 105 | 20/42 | 22 | 0/9806 | 0/154061 | 39 | **22/70** |
| Tan/Log | cgb | 20 | 0/9810 | 0/001654 | 93 | 24/18 | 16 | 0/9791 | 0/349757 | 21 | **14/81** |
| Tan | Rp | 14 | 0/9705 | 0/014944 | 52 | 10/59 | 17 | 0/9717 | 0/250848 | 24 | **25/95** |
| Log | Rp | 14 | 0/9715 | 0/013367 | 50 | 10/65 | 7 | 0/9786 | 0/381046 | 40 | **12/56** |
| Tan/Log | Rp | 12 | 0/9833 | 0/015578 | 160 | 9/47 | 14 | 0/9844 | 0/355371 | 56 | **11/38** |
| Tan | Scg | 12 | 0/9631 | 0/002519 | 183 | 10/46 | 24 | 0/9828 | 0/274136 | 110 | **21/83** |
| Log | Scg | 7 | 0/9823 | 0/001421 | 69 | 12/06 | 7 | 0/9890 | 0/173838 | 45 | **14/23** |
| Tan/Log | Scg | 4 | 0/9842 | 0/001992 | 58 | 24/11 | 12 | 0/9874 | 0/255315 | 86 | **10/58** |

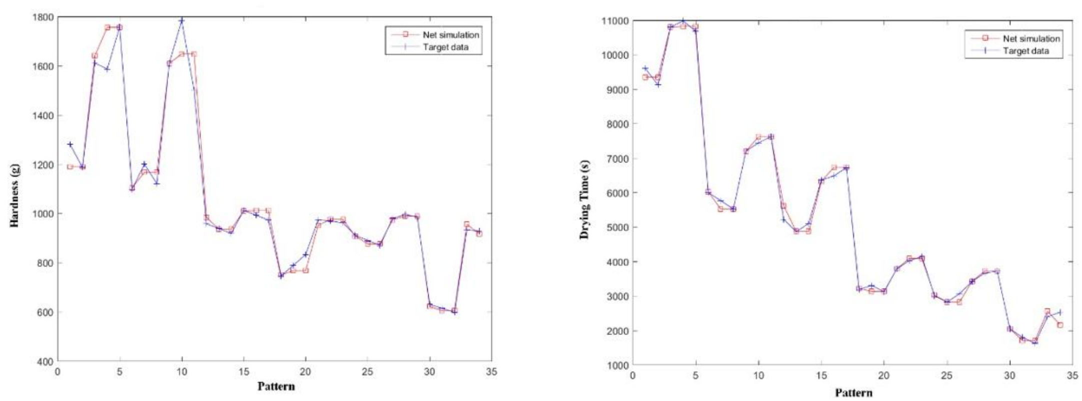
نتایج حاصل از به‌کارگیری شبکه عصبی در پیش‌بینی میزان سفتی بافت و زمان خشک شدن با 142 داده ورودی به شبکه نشان داد که بهترین توپولوژی با چیدمان 2-7-3 (3 نرون در لایه ورودی، 7 نرون در لایه پنهان و 2 نرون در لایه خروجی) الگوریتم آموزش لونبرگ- مارکوارت (lm) تابع آستانه لگاریتمی (Log) با تعداد تکرارهای (206 و 31) حاصل گردیده است. همان طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود ساختار شبکه عصبی با یک لایه پنهان با تعداد 7 نورون، دارای ضریب همبستگی بالاتر و میزان خطای کمتری نسبت به سایر ساختارهای شبکه عصبی می‌باشد. مدت زمان همگرا شدن شبکه عصبی مورد نظربه‌ترتیب (13/74 و 15/51) ثانیه برای سفتی بافت و زمان خشک شدن می‌باشد که بیانگر قابلیت بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی این تغییرات است. ضریب همبستگی (R) چیدمان‌های مذکور که هر دو پارامتر میزان سفتی و زمان خشک شدن را در بر می‌گیرد به‌ترتیب برابر با 0/9867 و 0/9980 است. همانطور که در شکل 5، مشاهده می‌شود همه نقاط حول یک خط راست 45 درجه با ضریب تبیین بالا بسیار بالا قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل مذکور می توان دریافت که داده‌های آزمایشی و داده‌های حاصل از مدل شبکه عصبی بسیار به هم نزدیک بوده به‌طوری که منحنی‌های هر دو سری داده روی یکدیگر منطبق شده اند و بیانگر همبستگی و همپوشانی بسیار خوب مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه در مقابل مقادیر واقعی است.

شکل 6، انطباق مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با مقادیر واقعی مربوط به بهترین توپولوژی‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان مشاهده کرد که انطباق خوبی بین خروجی‌های حاصل از شبکه و خروجی‌های حاصل از آزمایش مشاهده می‌شود به این صورت که یکسان‌ترین مقدار پیش بینی شده نسبت به مقدار واقعی در شرایط آزمایشگاهی، مربوط به شماره الگوهای 18 و24 بوده است در این الگو تفاوت هر دو مقدار بسیار ناچیز است

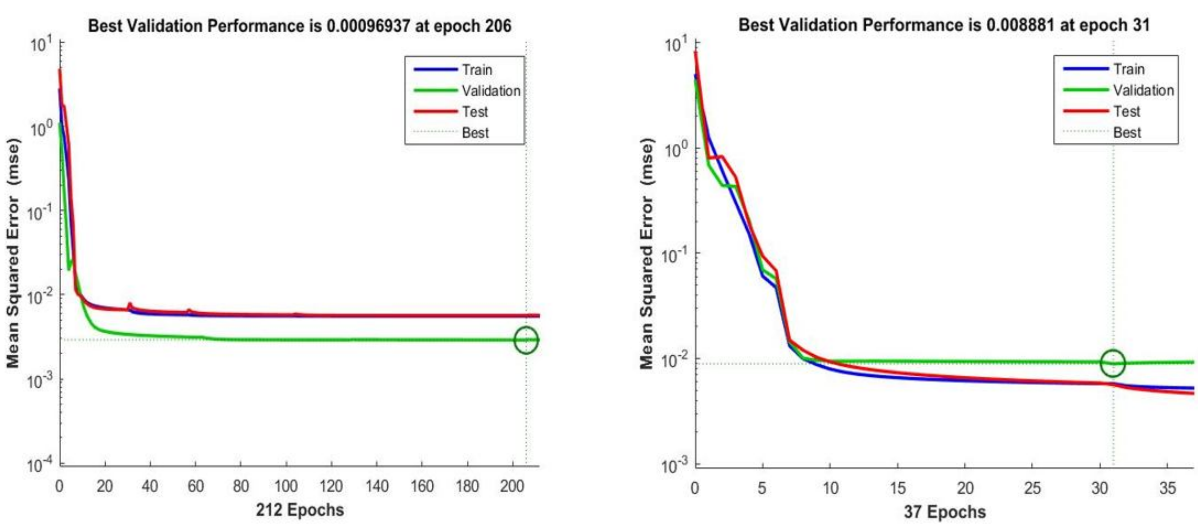
در شکل7، روال آموزش در صورتی که خطای مجموعه ارزیابی در 8 تکرار متوالی افزایش یابد، متوقف می‌شود. این توقف در تکرارهای (206 و 31) رخ داده است. همان‌طور که مشاهده می¬شود خطای میانگین مربعات مقدار کوچکی است و خطای مجموعه آموزش، ارزیابی و آزمایش دارای رفتار مشابهی هستند و بهترین کارایی شبکه در مورد داده های ارزیابی به وقوع پیوسته است و هیچ بیش برازشی رخ نداده است.




شکل **5**- میزان دقت پیش‌بینی مقادیر پارامترها توسط بهترین شبکه آموزش دیده با مقادیر واقعی

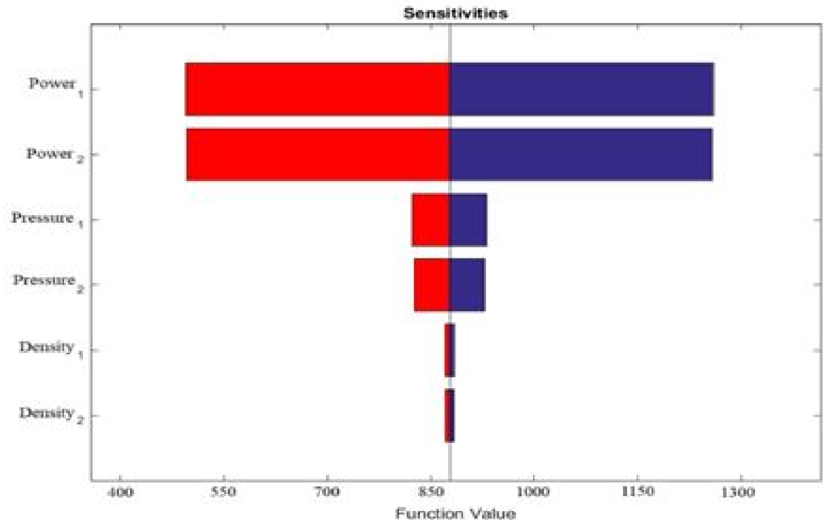



شکل **6**- انطباق مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی آموزش دیده با مقادیر واقعی




شکل**7**- روند آموزش شبکه عصبی در بهترین چیدمان با افزایش دوره یادگیری

شکل 8، اثر پارامترهای ورودی نسبت به پارامترهای خروجی شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر توان امواج مادون قرمز بیشتر از سایر پارامترهای ورودی به شبکه است. با توجه به شبکه عصبی انتخاب شده جهت پیش‌بینی سفتی بافت و زمان خشک شدن اسلایس‌های میوه "به" که به‌صورت 2-7-3 می‌باشد، ماتریس وزن برای بردار ورودی به لایه پنهان یک ماتریس هیسن 3× 7 (اتصال سه نرون ورودی به 7 نرون لایه پنهان) همچنین ماتریس وزن مربوط به لایه پنهان به لایه خروجی به صورت ماتریس هسین 7×2 (اتصال 7 نرون لایه پنهان به 2 نرون لایه خروجی) خواهند بود. علاوه بر این ماتریس بایاس برای بردار ورودی به لایه پنهان به‌صورت یک ماتریس هیسن 1× 7 و همچنین بردار بایاس لایه پنهان به لایه خروجی نیز به‌صورت یک ماتریس هیسن 1×1 برای هر پارامتر می‌باشد.




**شکل 8- اثر پارامترهای ورودی نسبت به پارامترهای خروجی شبکه عصبی**

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند می‌تواند پارامترهای سفتی بافت و زمان خشک شدن را با دقت بالایی تخمین بزند. مناسب‌ترین ساختار شبکه عصبی جهت پیش‌بینی پارامترهای مذکور با توپولوژی 2-7-3 به همراه توابع فعال‌سازی لگاریتمی با ضریب تبیین کل بالاتر از 0/9923 بهترین نتایج را ارائه نموده است. همچنین با افزایش توان خشک‌کن و استفاده از آبگیری اسمزی تحت خلا مدت زمان خشک شدن و سفتی بافت نمونه ها کاهش پیدا کرده می‌کند.

## منابع


Adak, N., Heybeli, N., and Ertekin, C. 2017. Infrared drying of strawberry. *Journal of Food Chemistry*, 219, 109-116.

Bonazzi, C., and Dumoulin, E. 2011. Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. Modern Drying Technology Volume 3: Product Quality and Formulation, First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Bowers, J.A., and Shedrow, C.B. 2000. Predicting stream water quality using artificial neural networks. WSRC-MS-2000-00112.

Emam Jomeh, Z., and Alaedini, B. 2005. Improvement of dry kiwi indexes and their formulation using osmotic pre-process. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36, 1421-1427.

Khosh Taghaza, M., Hosein Zadeh, B., Fayazi, A., and Amirnejat, H. 2005. Prediction of Moisture Content Drying of Thin Fungal Layer by Artificial Neural Networks after Release. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 50, 171-182.

Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T. H., and Soponronnarit, S. 2004. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 65, 293-301.

Mohebbi, A., Taheri, M., and Soltani, A. 2008. A neural network for predicting saturated liquid density using a genetic algorithm for pure and mixed refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 31 (8), 1317–1327.

Ozdemir, M.B., Aktas, M., Sevik, S., and Khanlari, A. 2017. Modeling of a convective-infrared kiwifruit drying process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 18005-18013.

Ozdemir, M., Ozen, B.F., Dock, L.L., and Floros, J.D. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology, *Food Science and Technology*, 26, 1-7.

Silva, B.M., Andrade, P.B., Martins, R.C., Valentao, P., Ferreres, F., Seabra, R.M., and Ferreira, M.A. 2004. Quince (*Cydonia oblonga Miller*) fruit characterization using principal component analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 111-122.

Soleimani, J., Emam Jomeh, Z., and Ghasem zadeh, H. 2007. Pre-treatment of hot-air dried carrots by osmotic dehydration. *Research and development in agriculture and horticulture*, 101-109.

Tavakolipour, H. 2001. Drying food principles and methods. Aizh Publishing, 1, 108-126.

Togrul, I. T., and Pehlivan, D. 2004. Modeling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, 65, 413-425.

Tortoe, C. 2010. A review of osmodehydration for the food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303-324.

Tripathy, P.P., and Kumar, S. 2008. Neural network approach for food temperature prediction during solar drying. *International journal Thermal Sciences*, 48, 1452-1459.

Yousefiyan, H., Razdari, A.M., Sihoun, M., and Kiani, H. 2016. Determine the optimal conditions response surface method and compared with neural network and regression methods of drying potatoes irradiated with gamma rays. *Journal of Food Science and Technology*, 59(13), 1-12.

**Iranian Food Science and Technology Research Journal**
**Vol. 15, No. 4, Oct- Nov 2019, p. 465-475**

**نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران**
**جلد 15، شماره 4، مهر- آبان 1398، ص. 475-465**

# Modeling of hardness and drying kinetics of "quince" fruit drying in an infrared convection dryer using the artificial neural network

**A. Gitiban, N. Asefi**

Received: 2018.10.30
Accepted: 2019.04.20

**Introduction:** Dried fruits are one of the most important non-oil exports and the efforts should be made to grow the economy of the country by increasing their exports to world markets. Meanwhile, quince juice contains various minerals including iron, phosphorus, calcium, potassium and rich in vitamins such as vitamins A, C and B vitamins. Drying of food is one of the ways to keep its quality and increase its shelflife. During this process, the removal of moisture through the simultaneous transfer of heat and mass occurs. By transferring heat from the environment to the foodstuff, the heat energy evaporates the surface moisture. The drying process has a great impact on the product. In recent years, new and innovative techniques have been considered that increase the drying rate and maintain the quality of the product and infrared drying is one of these novel techniques.. Infrared systems are emitting electromagnetic waves with a wavelength of 700 nm to 1 mm. The advantage of using infrared is to minimize waste and prevent product quality loss due to reduced drying time can be mentioned. The need to predict product quality in each process makes it necesary to model and discover the relationship between factors that can affect the final quality of the product. Artificial neural networks have been considered as a meta-innovative algorithm for modeling and prediction, which can be favored by the ability of these networks to model and predict processes The complexity and discovery of non-random fluctuations in data and the ability to discover the interactions between variables, economical savings in the use and disconnection of classical model abusive constraints (Togrul et al., 2004), the ability to reduce The effect of non-effective variables on the model by setting internal parameters is the ability to predict the desired parameter variations with minimum parameters (Bowers et al., 2000).

**Materials and methods:** In this research, quince fruit (Variety of Isfahan) was purchased as the premium product of Isfahan Gardens and was kept at 0°C in the cold room prior to further experiments. The fruits were removed from the refrigerator one hour before processing and exposed to ambient temperature. After washing, surface moisture was removed by moisture absorbent paper and turned into slices with a constant thickness of 4 mm. The specimens were subjected to pre-treatment with an osmotic solution (vacuum for 70 minutes at a temperature of 40 ° C for 5 hours). For drying the samples, an infrared convective dryer with three voltages (800.400 and 1200 watts) and a constant speed of 0.5 m / s was used. In this way, the samples were placed under infrared lamps on a plate made from a grid and the weight of the samples was measured in a scale of 10 minutes by means of a scale and recorded on the computer. In order to achieve stable conditions in the system, the dryer was switched on 30 minutes before the process. The distance between the samples and the infrared lamp was fixed in all treatments at 16 cm. The drying process continued to reach a moisture content of 0.22 basis. To perform a puncture tests, quince slices were used in a Brookfield-based American LFRA-4500 tissue analysis device. In order to model these parameters in the drying process, the results of examining the quality of the samples, including the firmness of the tissue as well as the drying time, were used as network outputs. The power, concentration and pressure parameters were considered as network inputs. In this research, a multilayer perceptron network (MLP) was used. Due to its simplicity and high precision, this model has a great application in modeling the drying of agricultural products. Many functions in transmitting numbers from the previous layer to the next layer may be used (Tripathy et al., 2008).

**Result & discussion:** The results indicated that the stiffness of the tissue is reduced in vacuum conditions with increased power. So, the least amount of stiffness was related to osmotic sample dried at 1200 watts. By increasing the infrared power, the stiffness of the tissue decreases, the reason for this is probably the volume increase phenomenon that occurs during the rapid evaporation of moisture through infrared rays from inside the tissue. The results showed that at the start of the drying process, due to the high moisture content of the product, the moisture loss rate is high. Gradually, with the advent of time and reduced initial moisture content, the rate of moisture reduction naturally decreases. At lower power, the drying time is longer and with increasing power, the drying time decreases due to the increase of the thermal gradient inside the product and consequently the increase in the rate of evaporation of the moisture content of the product. The results of this study showed that the neural artificial network, as a powerful tool, can estimate the stiffness parameters of the tissue and the drying time with high precision. The most suitable neural network structure to predict these

1 and 2. MSc Student and Assistant Professor, Food Science and Technology, Islamic Azad University Tabriz Branch
(* Corresponding author E-mail: n.asefi@iaut.ac.ir)

parameters with a 3-7-2 topology along with logarithmic activation functions with a total explanation coefficient above 0.9923 represent the best results. Also, by increasing the drying capacity and using osmotic dehydration, the drying time and the stiffness of the tissue samples is decreased.

**Keywords:** Artificial Neural Network, Hardness, Infrared Dryer, Osmotic dehydration, Quince fruit